УДК 612.6.07:612.753

Б. И. Коган, Ю. С. Антипов

РОСТ И ФОРМИРОВАНИЕ СКЕЛЕТА ПЕРЕДНЕЙ КОНЕЧНОСТИ У ИНБРЕДНЫХ МЫШЕЙ И КРЫС В УСЛОВИЯХ ГИПО-, НОРМО- И ГИПЕРДИНАМИКИ

Рост скелета передней конечности грызунов, находящихся в условиях ограниченной подвижности, изучали Л. И. Авдюничева (1965) и Ризенфельд (Riesenfeld, 1966). Однако их эксперименты несовершенны, так как связаны с ампутацией одной из конечностей, либо экстирпацией мышц и денервацией последних, что приводит к нарушению функций организма в целом в результате хирургического вмешательства. Особого внимания заслуживают работы, в которых изучались последствия иммобилизации конечности гипсованием, либо ограничение подвижности животного путем помещения его в клетку малого объема (Seireg et al., 1969; Mateef et al., 1971, 1971a, 1972; Jankovich, 1972). Суть их сведена к тому, что гипофункция ограничивает рост костей, изменяет их структуру, и приводит к атрофии костной ткани. Экспериментальные данные о влиянии гиперфункции на рост костей передней конечности достаточно разноречивы (Черный, 1950; Бунак, Клебанова, 1960; Donaldson et al., 1935; Mateef et al., 1971, 1971a, 1972). Оптимальные и сверхоптимальные нагрузки, на наш взгляд, играют морфогенетическую роль. Исследования, проведенные на инбредных или, так называемых, линейных грызунах, прошедших множество братско-сестринских скрещиваний и достигших высокой степени однородности, с присущим каждой линии определенным генотипом, доказали генетическую запрограммированность роста и строения скелета (Cruneberg, 1957, 1958; Deol et al., 1957, 1958; Stein, 1957). Поэтому логично предположить, что одна и та же нагрузка по разному воздействует на рост и формирование скелета с учетом индивидуально-генетических особенностей организма.

Опыты проводили на мышах линий C57Bl/6, CBA, CC57Br/Mv, гибридах первого поколения F_1 и крысах линий Август и Вистар (только самцах месячного возраста). Брали по 30 мышей и 45 крыс каждой линии, которых делили на три группы по 10 мышей и 15 крыс в каждой. Для первой группы животных создали условия гиподинамии, поместив их в клетки-пеналы малого объема. Вторую группу животных содержали в обычных условиях вивария (условия нормодинамии). Для третьей группы животных создали условия гипердинамии, тренируя их бегом в сконструированном нами третбане. Тренировку этой группы животных начали с 3-минутного бега, ежедневно увеличивая ее продолжительность на 1 минуту. В конце опыта она достигла 60 минут. Для животных всех групп и линий соблюдали стандартный пищевой рацион. Эксперимент продолжался 2 месяца и охватил период интенсивного роста животных. Животных забивали уколом иглы в продолговатый мозг, после чего кости передних левых конечностей мацерировали химическим путем в 1,5%-ном растворе калийной щелочи при температуре 45°. Мацерированные кости исследовали по Дюрсту (Duerst, 1926).

Программа остеометрии включала изучение лопаток и плечевых костей с определением их веса, наибольшей длины и ширины(у плечевой кости в самом широком месте диафиза, проксимального и дистального

эпифизов). Все цифровые материалы обрабатывали методом вариационной статистики с применением таблиц Н. Н. Самойлова (1970) на ЭЦВМ «МИР».

Остеометрия лопаток и плечевых костей экспериментальных животных выявила прямую зависимость веса, продольных и поперечных размеров от условий содержания животных. Анализ статистически достоверных данных показал, что с переходом от гиподинамии к нормо- и гипердинамии вес изучаемых костей (табл. 1) увеличился у животных всех

Таблица 1

Вес костей передней конечности (мг) у животных разных линий в зависимости от динамического режима *

Животное	Гиподинамия		Нормодинамия		Гипердинамия	
	Лопатка	Плечевая кость	Лопатка	Плечевая кость	Лопатка	Плечевая кость
Мыши						
C 57Bl/6	6,3±0,2	7,9±0,2	13,8±0,3	20,1±0,3	16,7±0,3	25,1±0,3
CBA	8,4±0,2	12,6±0,3	15,1±0,3	22,4±0,2	18,5±0,2	26,0±0,2
CC57B/Mv	10,0±0,2	15,1±0,2	18,2±0,3	26,1±0,2	20,1±0,2	27,3±0,2
F_1	14,1±0,3	23,0±0,2	22,6±0,3	27,8±0,3	25,4±0,3	30,9±0,2
Крысы						
Август	39,3±0,9	101,6±0,9	62,5±0,6	129,9±0,5	72,1±0,6	136,6±0,5
Вистар	43,6±0,5	117,7±0,4	68,5±0,5	139,7±0,8	83,9±0,7	149,0±0,8

* Р внутрилинейное и межлинейное во всех случаях достоверно.



Рис. 1. Лопатки и плечевые кости инбредных крыс при гипо-, нормо- и гипердинамии (справа налево):
верхний ряд — животные линии Август; нижний ряд — линии Вистар.

линий. Следует отметить, что в условиях ограниченной подвижности вес костей изменялся значительно больше, чем в условиях повышенной мышечной активности. Это обусловлено, очевидно, остеопорозом, развивающимся в костях животных в условиях гиподинамии (Быков, Новикова, Иванова, 1970; Delling et al., 1970; Mateev et al., 1970; Nikityuk, 1971; Mach, 1971). Рост лопаток и плечевых костей в длину был задержан у гиподинамических и стимулирован у гипердинамических животных всех

линий (рис. 1). Установлено, что аналогичные статистически достоверные изменения наблюдаются и в поперечном росте изучаемых костей животных в пределах гипо-, нормо- и гипердинамических групп (табл. 2).

Вместе с тем следует подчеркнуть, что все продольные и поперечные размеры плоских и трубчатых костей передних конечностей растущих животных различных линий в условиях гипо-, нормо- и гипердинамии

Таблица 2

Промеры костей скелета передней конечности (мм) у животных разных линий в зависимости от динамического режима *

Животное	Гиподинамия		Нормодинамия		Гипердинамия	
	Ширина лопатки	Ширина диафиза плечевой кости	Ширина лопатки	Ширина диафиза плечевой кости	Ширина лопатки	Ширина диафиза плечевой кости
Мыши						
C57Bl/6	6,06±0,08	1,02±0,01	6,86±0,04	1,14±0,01	7,22±0,02	1,30±0,02
CBA	7,15±0,04	1,12±0,02	7,31±0,02	1,21±0,02	7,49±0,02	1,41±0,02
CC57Br/Mv	7,46±0,011	1,35±0,02	7,61±0,04	1,41±0,02	7,78±0,03	1,64±0,02
F_1	7,92±0,02	1,46±0,03	8,02±0,03	1,54±0,01	8,15±0,04	1,78±0,02
Крысы						
Август	11,09±0,05	2,97±0,01	11,95±0,03	2,21±0,02	12,32±0,01	2,35±0,01
Вистар	12,01±0,02	2,27±0,01	12,37±0,01	2,38±0,01	12,62±0,01	2,51±0,01

* Р внутрилинейное и межлинейное во всех случаях достоверно.

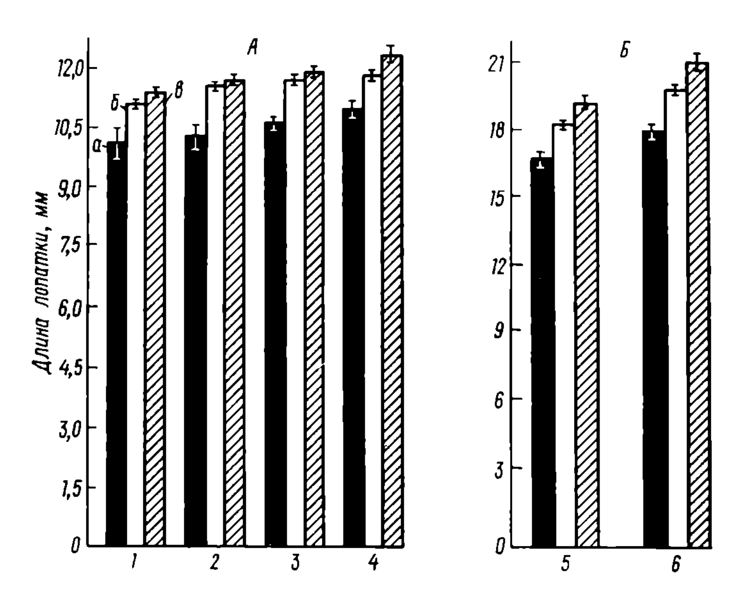


Рис. 2. Длина лопатки у инбредных животных различных линий:

1 — мышей C57Bl/6; *2* — мышей CBA; *3* — мышей CC57Br/Mv; *4* — мышей F_1; *5* — крыс Август; *6* — крыс Вистар; *а* — гиподинамия; *б* — нормодинамия; *в* — гипердинамия.

достигают своего генетически предопределенного предела, о чем свидетельствуют достоверные межлинейные отличия этих признаков (рис. 2, 3). Учитывая однородность изучаемых нами групп гипо-, нормо- и гиперди-

намических животных, мы вправе объяснить наличие межлинейной вариабельности этих показателей за счет генотипической предрасположенности линейных животных к механическим нагрузкам и недогрузкам. По

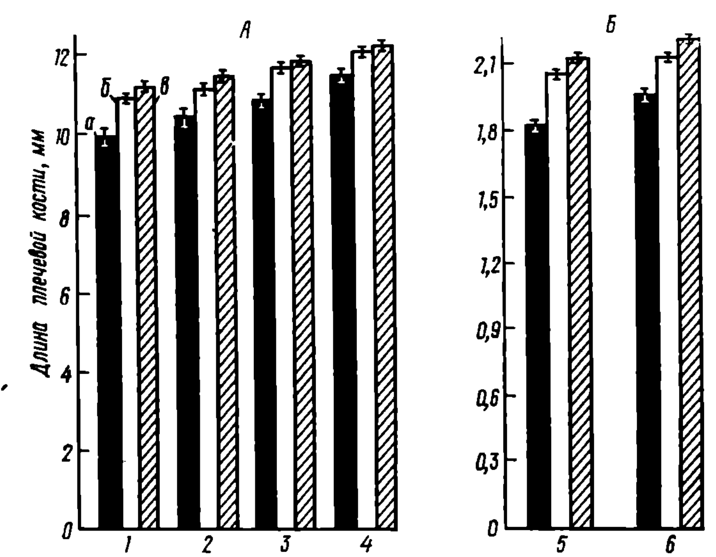


Рис. 3. Длина плечевой кости у инбредных животных различных линий:

1 — мышей C57Bl/6; *2* — мышей CBA; *3* — мышей F_1; *4* — мышей CC57Br/Mv; *5* — крыс Август; *6* — крыс Вистар; *а* — гиподинамия; *б* — нормодинамия; *в* — гипердинамия.

всем остеометрическим показателям гибриды первого поколения F_1 превосходят свои родительские формы линейных мышей CBA и C57Bl/6, что свидетельствует о проявлении феномена гетерозиса при всех изученных двигательных режимах.

ЛИТЕРАТУРА

Авдюничева Л. И. Экспериментально-морфологическое исследование влияния функции мышц на рост и строение передней конечности. Автореф. канд. дис. М., 1965, 22 с.

Бунак В. В., Клебанова Е. А. Влияние механической нагрузки на формирование костей конечностей у растущих животных.— Архив АГЭ, 1960, 28, № 5, с. 43—69.

Быков Г. П., Новикова А. В., Иванова С. М. О морфологических изменениях костей и мышечной ткани в условиях гипокинезии.— Космич. биология и медицина, 1970, 4, № 2, с. 80—81.

Самойлов Н. Н. Таблицы значений средней ошибки и доверительного интервала средней арифметической величины вариационного ряда. Томск, изд-во Томск. ун-та. 63 с.

Черный С. И. Экспериментальные исследования проблемы функциональных изменений.— Зоол. журн., 1950, 29, вып. 2, с. 164—175.

Delling G., Schafer A., Schleicher H., Ziegler R. The effect of calcitonin on disuse atrophy of bone in the rat.— Calcified. Tissue Res., 1970, 6, N 2, p. 143—150.

Deol M., Truslove M. Genetical studies on the skeleton of the mouse XX. Maternal physiology and variation in the skeleton of C57BL mise.— J. Genetics, 1957, 55, N 2, 288—312.

Deol M. Genetical studies on the skeleton of the mouse XXIV, Further data on sceletal variation in wild populations.— J. Embriol. and Exptl. Morphol., 1958, 6, N 4, p. 569—574.

Donaldson H., Masser R. Effect of prolonged rest following exercise on the weight of the organs of the albino rat.— Amer. J. Anat., *1935*, 56, p. *10—11*.

Duerst U. Vergleichende Untersuchunden am skelett bei saugern. Handbuch der Biologischen Arbeitsmetoden, Abt. 7,2, Ziefering 200, 1926, p. 125—530.

Gruneberg H. The developmental mechanisms of genes affecting the axial skeleton of the mouse.— Amer. Naturalist, 1957, **91**, N 857, p. 98—104.
Gruneberg H. Genetical studies on the skeleton of the mouse XXII. The development of Dauforth's short-tall.— J. Embriol. and Exptl. Morphol., 1958, **6**, N 1, p. 124—148.
Jankovich J. Lange K. Struktural development of bone in the rat under earth gravity, hypergravity, and simulated weightlessness.— AIAA Journal, 1972, **10**, N 6, p. 731—732.
Mach J. Die Inaktivitatsosteoporose. Berlin, 1971, 207 p.
Mateef D., Bocharov N., Binev K., Jankov D., Cherecharov L., Radomirov R., Toshkova S. Certain changes in the skeleton of immobilized and training albino rats.— Изв. иститута физиол. Бълг. АН, 1970, **13**, p. 139—144.
Mateef D., Bocharov N., Binev K. Cherecharov L., Jankov D., Radomirov R., Toshkova S. Influence of increased and reduced functional loading on the growth and development of the tubulor and pelvic bones of albino rats in the process of ontogenesis.— Докл. Бълг. АН, 1971, **24**, N 10, p. 1419—1422.
Mateef D., Bodourov N., Binev K., Cherecharov L., Jankov D., Radomirov R., Toshkova S. Influence d'une charge fonctionelle accure et diminuse sur la croissance et le development des os longs et du bassin chez les rats blancs.— Agressoloie, 1971a, **12**, Num. Spec. p. 69—74.
Mateef D., Bodourov N., Binev K., Jancov D., Cherecharov L., Radomirov R., Toshkova S. Influence of increased and reduced functional loading of the tubural bones of albino rats in the process of ontogenesis.— Изв. ин-та физиол. Бълг. АН, 1972, **14**, p. 277—281.
Nikitjuk B. A. Experimentall-morfologische Untersuchungen uber die Rolle mechanischer Belastugen bei der Formegebung von Femur und Beckenknochen verschiedener Saugetiere. Adaptat. Skelet. syst., Rostok, 1971, p. 100—107.
Riesenfeld A. B. The effect of experimental bipedalism and upright posture in the rat and their significance for the study of human evolution.— Acta anat., 1966, **65**, p. 449—521.
Seireg A., Kempke W. Behaviour of in vivo bone under cyclic loading.— Paper Amer. Soc. Mech. Eng., 1969, N 8.
Stein F. Genetical studies on the skeleton of the mouse XXI. The girdles and the long limb bones.— J. Genetics, 1957, **55**, N 2, p. 313—324.

НИИ физиологии детей и подростков
АПН СССР,
Винницкий мединститут

Поступила в редакцию
2.VIII 1974 г.

B. I. Kogan, Ju. S. Antipov

GROWTH AND FORMATION OF FORE-LIMB SKELETON IN INBRED MICE AND RATS UNDER CONDITIONS OF HYPO-, NORMO- AND HYPERDYNAMIA

Summary

The research was performed on inbred C57B 1/6, CБA, CC57Br/Mw interlinear hybrid of the first generation and rats of the AVGUST and VISTAR lines only month old males subjected to conditions of hypo-, normo- and hyperdynamia for two months. The statistically reliable dependence is shown between mechanical underloadings and overloadings and macro-microscopic changes in the hind limb skeleton of animals under experiment. Genetical determination of growth and formation of the fore-limb skeleton is established. Hereditary susceptibility and the phenomenon of heterosis in the studied characters are preserved under all motor conditions.

Research Institute of Children
and Teen-Agers Physiology,
Academy of Pedagogical Sciences, USSR;
Medical Institute, Vinnitsa